Desarrollo de modelos 3D de los edificios de contención de la Central Nuclear de Almaraz y de la Central Nuclear de Trillo con el código GOTHIC 8.0

Gonzalo Jiménez / DIN, Universidad Politécnica de Madrid*
Rafael Bocanegra Melián/ DIN, Universidad Politécnica de Madrid
Kevin Fernández Cosials / DIN, Universidad Politécnica de Madrid
Pilar Barreira Pereira / Gas Natural Fenosa Engineering
Luis Rey Peinado / Tecnatom
Jose Maria Posada Barral/ CNAT
Juan Carlos Martinez Murillo / CNAT
**gonzalo.jimenez@upm.es*

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de los accidentes tipo LOCA o MSLB en una contención PWR-W normalmente se simulan con la opción de volúmenes de control con parámetros agrupados en GOTHIC, ya que es lo que hasta ahora se ha considerado adecuado para el análisis de licencia (referencias [1], [2], [2], [2] y [3]). Sin embargo, para el estudio de detalle del comportamiento termo-hidráulico de cada recinto de la contención, podría ser más adecuado contar con un modelo tridimensional que representase más fielmente la geometría de la contención

El objetivo de la primera fase del proyecto de investigación de CNAT y la UPM es la construcción de varios modelos tridimensionales detallados con el código GOTHIC 8.0 de los edificios de contención de una planta tipo PWR-W y KWU, correspondientes a la Central Nuclear de Almaraz (CNA) y Trillo (CNT) respectivamente.

2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE CONTENCIÓN EN 3D

La construcción de modelo de la contención en 3D se ha realizado en tres pasos:

- Modelo detallado CAD en 3D
- Modelo Simplificado CAD en 3D
- Modelo en GOTHIC

2.1. Modelo detallado CAD en 3D

El modelo tridimensional en CAD (Ilustración 1) se ha construido mediante la digitalización de los planos disponibles y su posterior uso como plantilla de base. Los documentos principales que han servido como fuente de información de la geometría de la planta provienen de los Estudios Últimos de Seguridad (EFS) de ambas plantas (referencias [6] y [7]).

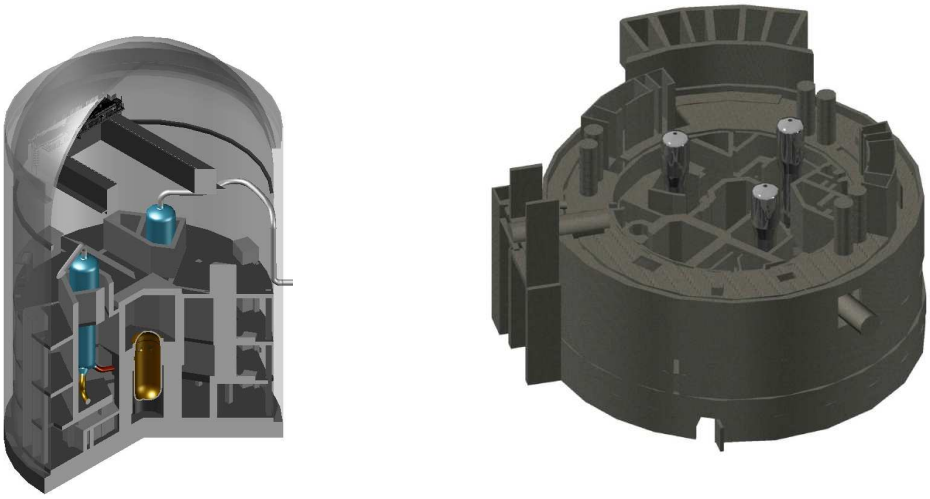

Ilustración 1: Modelo Detallado 3D de la CNA y CNT

2.2. Modelo simplificado CAD en 3D

El objetivo de estos modelos simplificados es servir como un modelo de enlace entre el modelo detallado y el modelo en GOTHIC. Se ha tratado de construir unos modelos usando figuras geométricas simples, usadas por el código GOTHIC para la creación de bloques (blockages), manteniendo en todo lo posible el nivel de detalle.

Para aportar de cierta flexibilidad a las simulaciones, se han construido varios modelos para cada planta, ya que una resolución de malla elevada, requieren también un alto coste computacional. Por ello en el caso de la CNA, se han construido tres modelos, uno integral (todo el modelo se encuentra representado en un único volumen de control) y dos multivolumen (Ilustración 2), cada uno de ellos con una resolución de malla diferente. En el caso de la CNT, se ha optado por dos modelos integrales, uno de con ciertas modificaciones geométricas para adaptarla a la malla (GSGA), lo que reduce considerablemente el número de celdas necesarias,(Ilustración 3), y otro sin estas modificaciones.

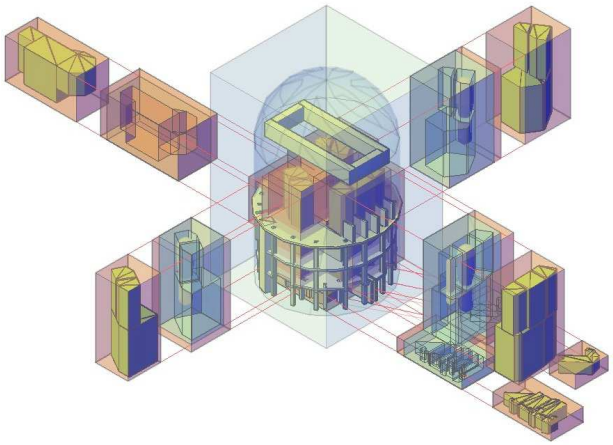

Ilustración 2: Modelo CAD 3D Simplificado Multivolumen de la CNA

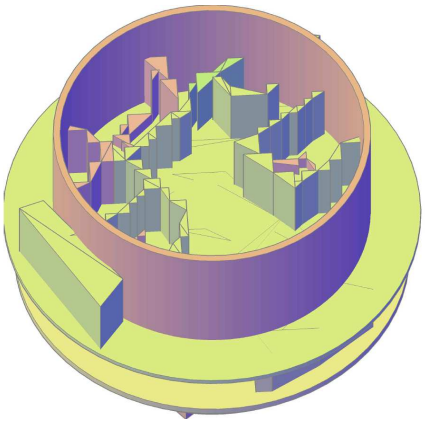

Ilustración 3: Modelo CAD 3D GSGA de la CNT

2.3. Modelo GOTHIC en 3D

Para la construcción del modelo en el código GOTHIC se ha seguido la siguiente secuencia, siguiendo las recomendaciones del manual de usuario del código (referencia [8]):

- Volúmenes de control
- Geometría de la instalación mediante el uso de bloques (blockages)
- Mallado del volumen subdividido
- Inserción de conectores 3D (3D conectors) y caminos de flujo (flow paths)
- Estructuras de calor

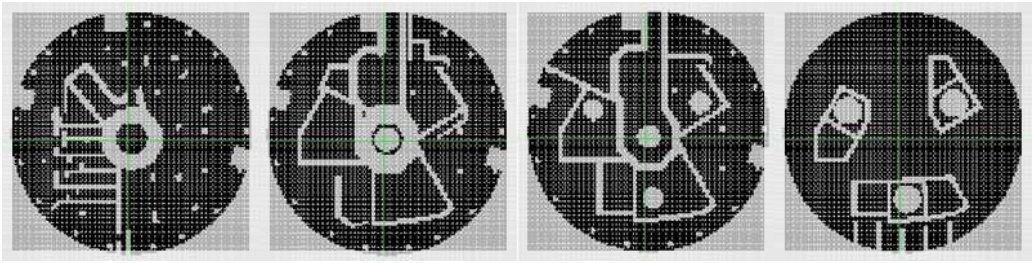

Ilustración 4: Modelo en GOTHIC de la CNA

En el proceso de exportación de datos al código GOTHIC, se han programado herramientas que han permitido la reproducción fiel de la geometría para tamaños de malla muy eficientes computacionalmente, como puede observarse en la Ilustración 4.

3. COMPROBACIÓN DE LOS MODELOS TERMO-HIDRÁULICOS

Se han realizado pruebas sobre los modelos TH en GOTHIC, verificándose el adecuado comportamiento de los conectores, flow paths y conductores térmicos, así como de la malla elegida para su nodalización.

En el caso de la Central Nuclear de Almaraz, se han realizaron tres test:

- **TEST 1:** Test de estanqueidad para comprobar el comportamiento de los fluidos ante las barreras arquitectónicas. En este primer test, se hizo uso de una condición de contorno que introducía agua en el interior de la piscina de transferencia de combustible para verificar que no se producen fugas.

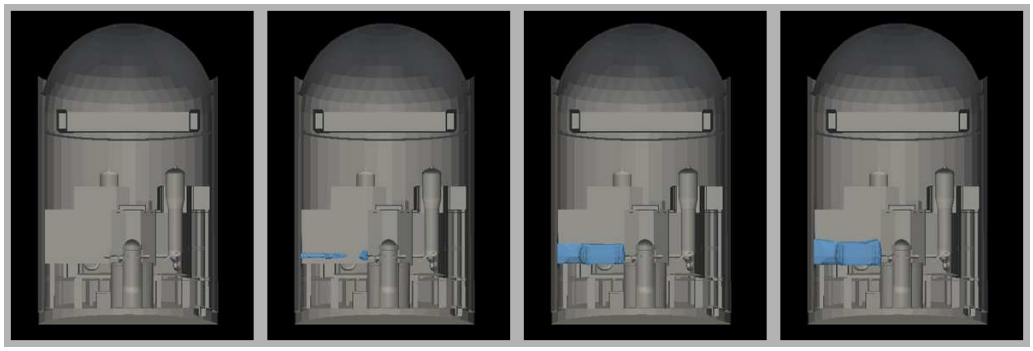

Ilustración 5: TEST 1 del modelo integral de la CNA

Como puede observarse en el caso de ejemplo de la Ilustración 5, no se observó agua líquida en ninguna otra ubicación que no fuera la piscina de transferencia de combustible. Además, también se observó que la presión en ese habitáculo iba en aumento a medida que se llenaba de agua, lo que indica estanqueidad y por consiguiente, un buen comportamiento de la nodalización en esta región del modelo.

- **TEST 2:** En esta segundo prueba, se inició una inyección de helio en varios puntos de la cota inferior para observar su distribución por pasillos y habitáculos.

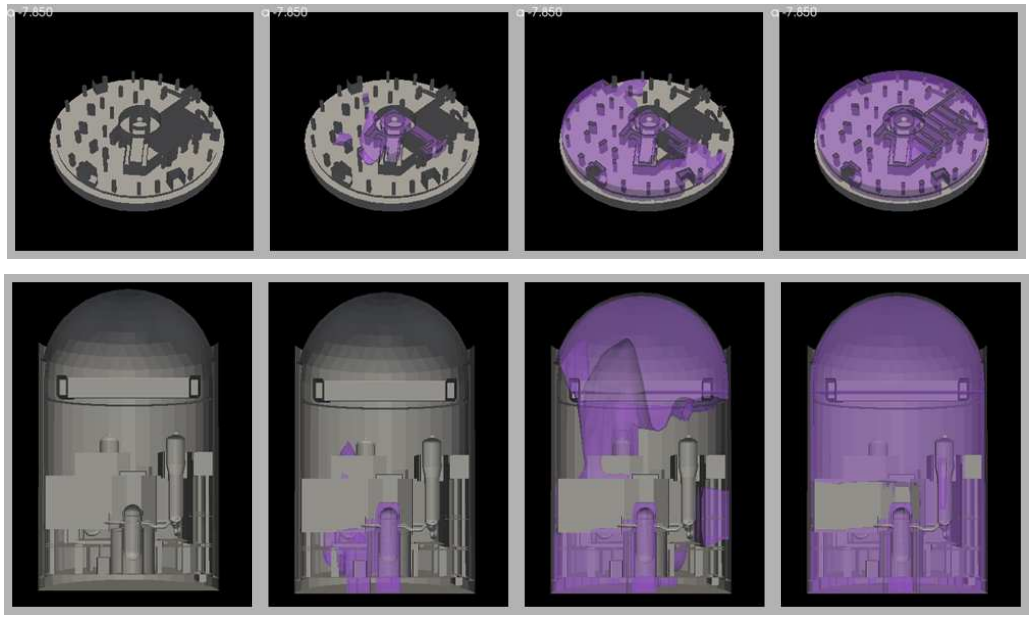

Ilustración 6: TEST 2 del modelo integral de la CNA

Como resultado de este test (Ilustración 6), puede verse como el gas noble se distribuye a través de pasillos y asciende hasta la cúpula por los cajones de los generadores de vapor. Con este test se verifican las conexiones existentes entre recintos del modelo.

- **TEST 3:** En este último test, se quería comprobar el comportamiento de los conductores térmicos, por lo que se optó por introducir un "jet" de helio a alta presión y temperatura para observar el comportamiento térmico de los modelos.

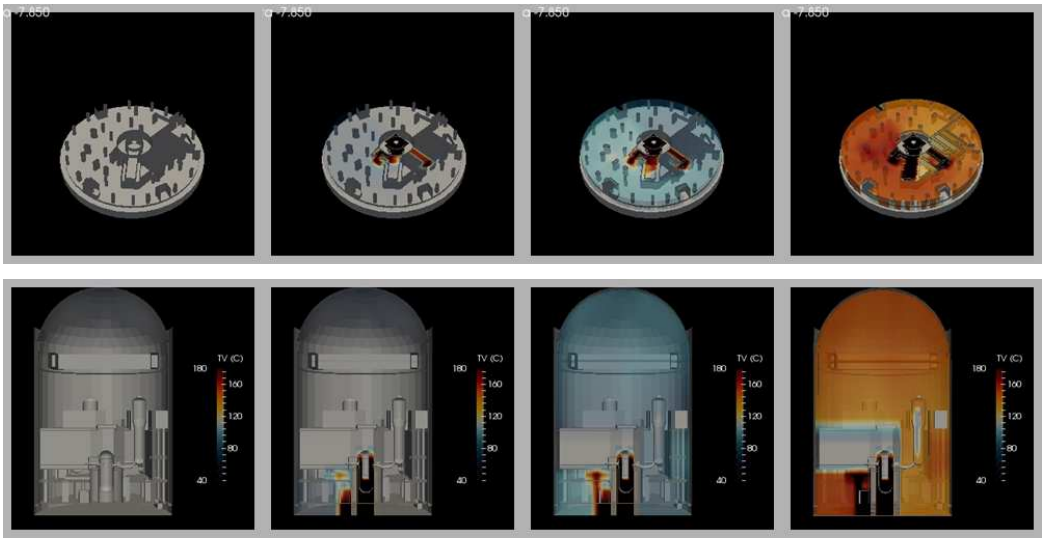

Ilustración 7: TEST 3 del modelo integral de la CNA

Los puntos de inyección estaban misma posición que los del Test 2, y como puede verse en Ilustración 7, uno estaba ubicado en la cavidad del reactor, otro en una de las habitaciones anexas y el tercero en el lado este de esa misma cota. La secuencia fue de 200 segundos y puede verse como la temperatura en todo el edificio aumenta de forma heterogénea.

- En el caso de la Central Nuclear de Trillo, al poseer esta central más espacios se han realizado una gran cantidad de test de estanqueidad. Estos test, parecidos a los realizados en CNT, consistían en llenar completamente una habitación de agua, y observar fugas en el modelo posteriormente.

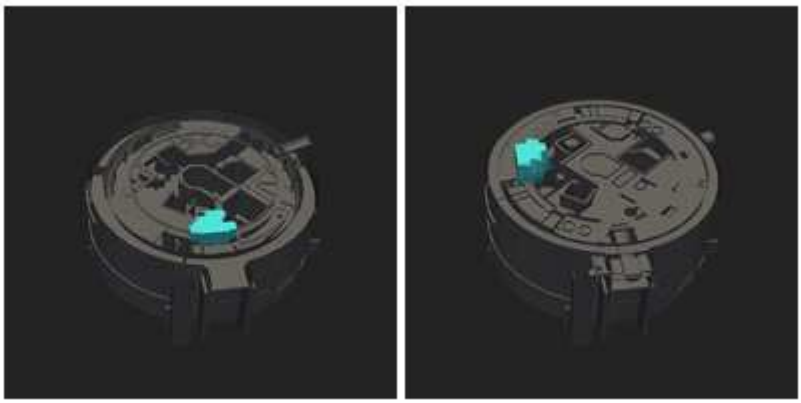

Ilustración 8: Test de estanqueidad en el modelo GSGA en CNT

Se muestran en la Ilustración 8 dos de de estos test. Si el resultado del test era negativo, y había fugas se repetía realizando los cambios pertinentes hasta que no hubiese fugas en los habitáculos, y el nivel de agua permaneciese estable.

4. CONCLUSIONES

En los resultados de los casos de prueba, se puede observar la complejidad de la simulación tridimensional de estas características, teniendo especial importancia el detalle estructural del modelo y la compartimentación de la contención en la evolución de la presión y la temperatura. Esto abre nuevas posibilidades a la hora de estudiar las consecuencias de accidentes contemplados tanto dentro como fuera de las bases de diseño.

Con la planta funcionando en régimen de operación a potencia se podría simular accidentes de categoría 4, como un accidente con pérdida de refrigerante en el primario, o una rotura grande en la línea de vapor principal.

Así mismo, la construcción del modelo tridimensional en CAD sirve como base para la realización de estudios con otro códigos CFD (FLUENT, Star-CCM+,...) y realizar modelos tridimensionales ultradetallados. Este tipo de simulaciones requieren una alta capacidad computacional y una inversión significativa en licencias de software, sin embargo, se abrirían líneas de investigación poco exploradas a día de hoy en lo referente a estudios termo-hidráulicos y de seguridad nuclear.

REFERENCIAS

[1] Ofstun R P, Scobel J H. 'Westinghouse Containment Analysis Methodology'. WCAP-16608-NP. Agosto 2006.

[2] Ofstun R P; Andreychek T S. 'WGOTHIC Application to AP600 and AP1000'. Marzo 2004.

[3] Ofstun R P. 'Development and Qualification of a GOTHIC Containment Evaluation Model for the Prairie Island Nuclear Generating Plants'. Abril 2004.

[4] AREVA, Framatome ANP. 'Analysis of Containment Response to Postulated Pipe Ruptures Using GOTHIC'. BAW-10252(NP). Julio 2004.

[5] Wang A B. 'Fort Calhoun Station, Unit 1, Issuance of Amendment 222, Authorizing Revisions to the Updated Safety Analysis Report to Incorporate the NRC Approval of the GOTHIC 7.0 Computer Program for Performing Containment Analysis. Mayo 2005.

[6] Empresarios Agrupados, Estudio Final de Seguridad C.N.Almaraz, Revisión AC.30

[7] Siemens, Estudio Final de Seguridad C.N.Trillo

[8] Frank Rahn. 'GOTHIC 8.0 (QA) Thermal Hydraulic Analysis Package User Manual'. NAI 8907-02 Rev 20. January 2012.